

## 大气颗粒物源解析知识

### 目录

- 空气质量常识(一)
- 武汉市环境空气自动监测网络(二)
- 武汉市环境空气自动监测网络 (三)
- 大气颗粒物源解析工作(四)

## 大气颗粒物源解析--空气质量常识(一)

### 一、空气质量常识

#### (一) 空气污染与污染物

空气污染通常是指由于人类活动或自然过程引起某些物质进入大气中，呈现出足够的浓度，达到足够的时间，并因此危害了人类的舒适、健康和福利或环境的现象。在特定时间和地点，空气质量受到许多因素影响，来自固定和流动污染源的人为排放是影响空气质量的最主要因素之一，城市的建筑密度、地形地貌和气象条件等也是影响空气质量的重要因素。

空气中的污染物主要分为两类，即气态污染物和颗粒物。气态污染物主要有二氧化硫（ $\text{SO}_2$ ）、氮氧化物（ $\text{NO}_x$ ）、一氧化碳（ $\text{CO}$ ）、碳氢化合物、臭氧（ $\text{O}_3$ ）等；颗粒物主要有粉尘、酸雾、气溶胶等。

#### (二) 颗粒物污染

空气中固态和液态颗粒状态的物质统称空气颗粒物。颗粒物按大小可分为总悬浮颗粒物（ $\text{TSP}$ ）、可吸入颗粒物（ $\text{PM}_{10}$ ）和细颗粒物（ $\text{PM}_{2.5}$ ）等。

### 1、总悬浮颗粒物 ( TSP )

总悬浮颗粒物 ( TSP )指空气动力学直径小于或等于 100 微米的颗粒物。燃煤排放烟尘、工业废气中的粉尘及地面扬尘是大气中 TSP 的重要来源。

### 2、可吸入颗粒物 ( PM<sub>10</sub> )

可吸入颗粒物 ( PM<sub>10</sub> )指空气动力学直径小于或等于 10 微米的颗粒物，也称飘尘。城市中 PM<sub>10</sub> 主要来自污染源的直接排放如道路尘土、建筑施工、生产排放，及环境空气中硫氧化物、氮氧化物、挥发性有机化合物及其它化合物互相作用形成的细小颗粒物。

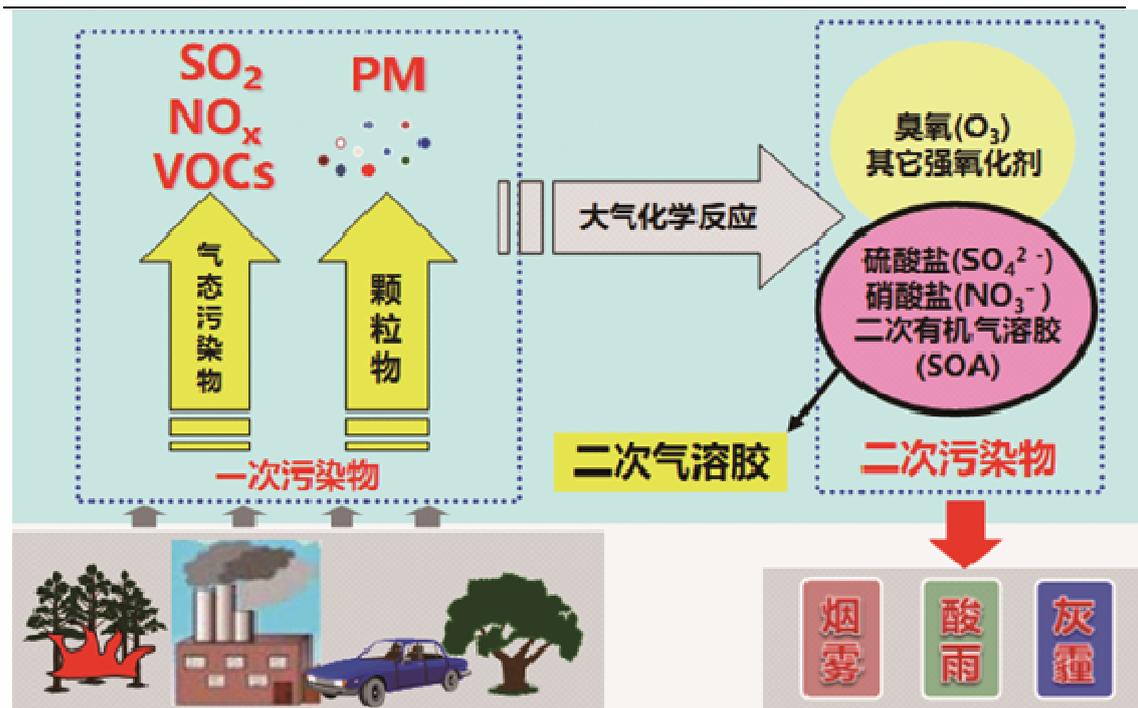
PM<sub>10</sub> 危害包括健康危害和环境危害两方面。PM<sub>10</sub> 会累积在呼吸系统中，对呼吸系统和心血管系统造成伤害，导致哮喘、肺癌、心血管疾病、出生缺陷和过早死亡等；可吸入颗粒物对光的散射效应和吸收效应，是大气能见度降低的最主要因素。

### 3、细颗粒物 ( PM<sub>2.5</sub> )

细颗粒物 ( PM<sub>2.5</sub> )是指环境空气中将空气动力学当量直径小于 2.5 微米的颗粒物。其来源广泛、成因复杂，主要化学成分包括无机成分、有机成分、微量金属元素、元素碳 ( EC )、生物物质 ( 细菌、病菌、霉菌等 ) 等。PM<sub>2.5</sub> 来源主要分为自然源 ( 扬尘、海盐、植物花粉、细菌等 ) 和人为源 ( 化石燃料燃烧、机动车尾气、生物质燃烧等 ) 两种。



与  $PM_{10}$  相比， $PM_{2.5}$  粒径小，富含大量的有毒、有害物质，且在大气中的停留时间长、输送距离远，因而对人体健康和大气环境量的影响更大。 $PM_{2.5}$  被吸入人体后会直接进入支气管，干扰肺部的气体交换，引发包括心脏病、肺病、呼吸道疾病，降低肺功能等疾病；若通过支气管和肺泡进入血液，其中重金属等有害物质溶解在血液中则危害更大。此外， $PM_{2.5}$  是造成灰霾天气的元凶之一，直接导致城市能见度下降，严重危害生产生活和人体健康。

图 1 PM<sub>2.5</sub> 的一般形成机理

### (三) 颗粒物化学组成

#### 1、无机盐类

颗粒物中无机盐类主要是指水溶性无机盐类,包括铵盐、硝酸盐、硫酸盐等。

无机盐类是颗粒物的重要组成成分,主要是通过燃煤、机动车、工业、扬尘、生物质燃烧等排入环境中的一次污染物(二氧化硫、二氧化氮、一氧化氮),在大气环境中经物理、化学或生物因素作用下发生变化,或与环境中其他物质二次反应所形成,其形成机制往往较为复杂,且毒性更强,对气溶胶的化学性质有重要影响。

#### 2、碳质组分

大气颗粒物中的含碳组分主要包括有机碳(OC)、元素碳(EC)。

OC 是一种含有上百种有机化合物的混合物，包括污染源排放的一次有机碳和碳氢化合物通过光化学反应等途径生成的二次有机碳。EC 通常是由木材等生物质或化石燃料的不完全燃烧产生的，并由污染源直接排放，故主要存在于一次气溶胶中。

### 3、元素组分

大气颗粒物中包含不少地壳物质和痕量元素，现已发现存在于大气颗粒物中的元素种类达七十余种。这些元素来自各种源，天然源中风沙和火山爆发是最主要的，人为源中主要来自化石燃料的高温燃烧过程和其他高温燃烧的工业过程，如燃煤、燃油、钢铁冶炼、沙尘等。

### 4、有机组分

有机物在大气中广泛存在，是大气颗粒物的重要组分。大气颗粒物中所含有的有机组分包括多环芳烃化合物、正构烷烃、酞酸酯、醛酮类羰基化合物等有毒有机污染物。

多环芳烃化合物（PAHs）是对人体健康危害最大的环境致癌物质，目前已经发现的致癌性多环芳烃及其衍生物超过 400 种，其中苯并芘是公认的三致（致癌、致突变、致畸性）化合物。大气中的多环芳烃多集于颗粒物中。

## （四）环境空气质量指数（AQI）

AQI，即空气质量指数（Air Quality Index），是定量描述空气质量状况的无量纲指数。参与空气质量评价的主要污染物为 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、二氧化氮（NO<sub>2</sub>）、O<sub>3</sub>、CO 六项，AQI 的计算与评价

过程大致可分为三个步骤：

1、对照各项污染物的分级浓度限值（表 1），以六项污染物的实测浓度值（其中 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 为 24 小时平均浓度）分别计算得出空气质量分指数（Individual Air Quality Index，简称 IAQI）；

2、从各项污染物的 IAQI 中选择最大值确定为 AQI，当 AQI 大于 50 时，将 IAQI 最大的污染物确定为首要污染物；

3、对照 AQI 分级标准（表 2），确定空气质量级别、类别及表示颜色、健康影响与建议采取的措施。

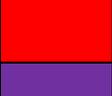
简言之，AQI 就是各项污染物的 IAQI 中的最大值，当 AQI 大于 50 时，对应的污染物即为首要污染物。若 IAQI 最大的污染物为两项或两项以上时，并列为首要污染物。IAQI 大于 100 的污染物为超标污染物。

AQI 共分六级，从一级优、二级良、三级轻度污染、四级中度污染，直至五级重度污染、六级严重污染，空气污染指数分别划分为 0-50、51-100、101-150、151-200、201-300 和大于 300 六档。其数值越大、级别和类别越高、表征颜色越深，说明空气污染状况越严重，对人体的健康危害也就越大。市民看 AQI 时，不需要记住 AQI 的具体数值和级别，只需要注意六种评价类别和表征颜色。当类别为优或良、颜色为绿色或黄色时，一般人群都可以正常活动；当类别为轻度污染以上，颜色为橙色、红色、紫色或褐红色时，各类人群就需要关注建议采取的措施，在安排自己的生活与出行时作为参考。

表 1 空气质量分指数及对应的污染物项目浓度限值

空气质量分指数 (IAQI)	污染物项目浓度限值									
	二氧化硫 (SO <sub>2</sub> ) 24 小时平均/ (μg/m <sup>3</sup> )	二氧化硫 (SO <sub>2</sub> ) 1 小时平均/ (μg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	二氧化氮 (NO <sub>2</sub> ) 24 小时平均/ (μg/m <sup>3</sup> )	二氧化氮 (NO <sub>2</sub> ) 1 小时平均/ (μg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	颗粒物 (粒径小于等于 10μm) 24 小时平均/ (μg/m <sup>3</sup> )	一氧化碳 (CO) 24 小时平均/ (mg/m <sup>3</sup> )	一氧化碳 (CO) 1 小时平均/ (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	臭氧 (O <sub>3</sub> ) 1 小时平均/ (μg/m <sup>3</sup> )	臭氧 (O <sub>3</sub> ) 8 小时滑动平均/ (μg/m <sup>3</sup> )	颗粒物 (粒径小于等于 2.5μm) 24 小时平均/ (μg/m <sup>3</sup> )
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	50	150	40	100	50	2	5	160	100	35
100	150	500	80	200	150	4	10	200	160	75
150	475	650	180	700	250	14	35	300	215	115
200	800	800	280	1 200	350	24	60	400	265	150
300	1 600	<sup>(2)</sup>	565	2 340	420	36	90	800	800	250
400	2 100	<sup>(2)</sup>	750	3 090	500	48	120	1 000	<sup>(3)</sup>	350
500	2 620	<sup>(2)</sup>	940	3 840	600	60	150	1 200	<sup>(3)</sup>	500
说明:	<sup>(1)</sup> 二氧化硫 (SO <sub>2</sub> )、二氧化氮 (NO <sub>2</sub> ) 和一氧化碳 (CO) 的 1 小时平均浓度限值仅用于实时报, 在日报中需使用相应污染物的 24 小时平均浓度限值。 <sup>(2)</sup> 二氧化硫 (SO <sub>2</sub> ) 1 小时平均浓度值高于 800 μg/m <sup>3</sup> 的, 不再进行其空气质量分指数计算, 二氧化硫 (SO <sub>2</sub> ) 空气质量分指数按 24 小时平均浓度计算的分指数报告。 <sup>(3)</sup> 臭氧 (O <sub>3</sub> ) 8 小时平均浓度值高于 800 μg/m <sup>3</sup> 的, 不再进行其空气质量分指数计算, 臭氧 (O <sub>3</sub> ) 空气质量分指数按 1 小时平均浓度计算的分指数报告。									

表 2 空气质量指数及相关信息

空气质量指数 (AQI)	空气质量指数级别	空气质量指数类别及表示颜色	对健康影响情况	建议采取的措施
0-50	一级	优 	空气质量令人满意,基本无空气污染	各类人群可正常活动
51-100	二级	良 	空气质量可接受,但某些污染物可能对极少数异常敏感人群健康有较弱影响	极少数异常敏感人群应减少户外活动
101-150	三级	轻度污染 	易感人群症状有轻度加剧,健康人群出现刺激症状	儿童、老年人及心脏病、呼吸系统疾病患者应减少长时间、高强度的户外锻炼
151-200	四级	中度污染 	进一步加剧易感人群症状,可能对健康人群心脏、呼吸系统有影响	儿童、老年人及心脏病、呼吸系统疾病患者避免长时间、高强度的户外锻炼,一般人群适量减少户外运动
201-300	五级	重度污染 	心脏病和肺病患者症状显著加剧,运动耐受力降低,健康人群普遍出现症状	老年人和心脏病、肺病患者应停留在室内,停止户外运动,一般人群减少户外运动
>300	六级	严重污染 	健康人运动耐受力降低,有明显强烈症状,提前出现某些疾病	老年人和病人应当留在室内,避免体力消耗,一般人群应避免户外活动

## 大气颗粒物源解析--武汉市环境空气自动监测网络(二)

### 二、武汉市环境空气自动监测网络

武汉市空气自动监测始于 1983 年，是国内最早开展空气质量自动在线监测的城市之一，经过 30 多年的发展，初步形成了包括地面监测网络、复合污染监测实验室、遥感监测和加强监测、预警预报体系等构成的大气复合污染监测体系。现有的地面监测网络包括 26 个、4 类自动监测站点，涵盖所有行政区域，能客观评价武汉地区环境空气质量状况和变化趋势。

#### (一) 环境空气质量评价监测站点

武汉市空气质量自动监测评价点共 21 个，包括 9 个国控自动监测点位、1 个清洁对照点位和 11 个市控自动监测点位。所有点位均开展 PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO 和 O<sub>3</sub> 六项指标的监测。

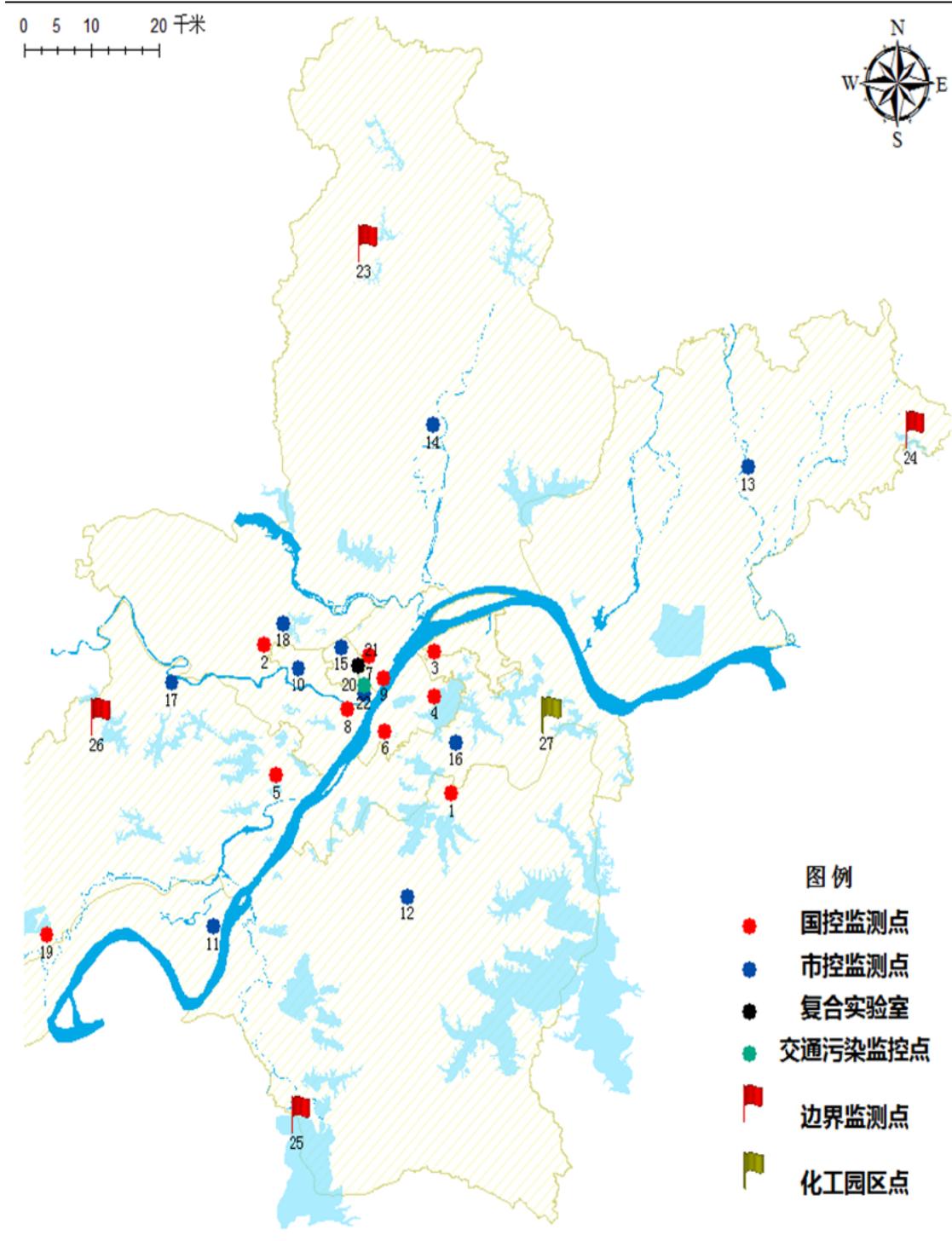


图 2 武汉市空气质量自动监测站点分布图



图 3 武汉市空气质量自动监测站点内外景

汉口花桥、武昌紫阳、沌口新区、汉口江滩、吴家山、东湖梨园、汉阳月湖、东湖高新和青山钢花等 9 个国控自动监测点位的浓度平均值代表了武汉市的平均空气质量水平。1 个清洁对照点位沉湖七壕位于国家湿地保护区范围，不纳入城区统计，代表武汉市空气质量本底水平。

为评价各区空气质量，在国控点基础上，增加洪山地大、江汉红领巾、硚口古田、黄陂区站、蔡甸区站、新洲区站、江夏区站、汉南区站、东西湖区站、江汉南片区站和化工区站在内的 11 个市控自动监测点位，监控新城区的空气质量水平。各区中心地带或城关均有一个以上空气质量评价点，以监测人群集中区域空气质量水平。

## **（二）路边交通污染监测站点**

路边交通污染监测点位 1 个，位于武汉市江汉区新华路武汉市环境保护局门口，实时监测道路交通污染源对环境空气质量的影响，用于研究道路交通污染物浓度变化特征、臭氧污染转化机理及机动车排放对城市污染的贡献规律等。

## **（三）区域边界站点**

在武汉市边界附近、大气污染物的输送关键通道上建设有 4 个空气质量边界监测点位，分别在城市盛行上风向的新洲长岗山、黄陂云雾山以及城市盛行下风向的蔡甸索河、江夏法泗。

4 个环境空气边界监测站点均配置有  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{1}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、 $O_3$ 、阴阳离子分析仪、气象、通讯系统等仪器设备，主要用于反映区域尺度的大气污染排放的相互影响、污染物浓度水平、空气

质量变化趋势，监控武汉市与邻近省、市间大气污染输送情况，提升城市间区域污染物排放、输送及精度分析环境空气污染成因的监测能力。部分站点还增配有温廓线雷达、风廓线雷达、碳（OC/EC）分析仪、挥发性有机物（VOCs）分析仪、粒径谱仪等仪器，能够综合反映光化学烟雾、灰霾、酸雨和温室气体等在内的多目标污染的过程、特征和影响机制，为区域性大气复合污染和预警提供数据依据。

#### （四）大气复合污染监测实验室

武汉市大气复合污染监测实验室俗称“超级站”、“灰霾站”，于2012年5月开始运行，是华中地区第一个大气复合污染监测实验室。实验室位于武汉市江岸区长江日报路与香江路交汇处，属于交通、商业、居民混合区，四周200米内无高大建筑物，视野开阔、环境稳定，是城市中心难寻的大气监测点。

大气复合污染监测是对空气中颗粒物、含硫化合物、含氮化合物、含碳化合物、含卤素化合物、光化学污染物、干、湿沉降、重金属等各类污染物全面自动化的监测。实验室现有仪器设备四十余台（套），实时在线监测SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、CO、O<sub>3</sub>、甲烷/非甲烷、硫化氢、氨、OC、EC、BC、浊度、VOCs、不同粒径颗粒物数浓度、激光雷达、大气稳定度等多项污染物。主要功能包括大气污染化学成分自动监测、大气颗粒物（气溶胶）物理性质监测、大气光学特征监测、地面常规气象参数监测、灰霾天气分析、空气质量及监测技术研究等六个方面。自运行至今，该实验室为分析武汉市空气质量变化特点和污染来源，预警预报空气重污染，发挥了至关重要的作用。

## 大气颗粒物源解析--武汉市环境空气自动监测网络 (三)

### 三、武汉市环境空气质量

#### (一) 近十年空气质量状况

##### 1、空气质量优良天数和优良率

2005-2012年,按照GB3095-1996评价,空气质量优良天数和优良率逐年上升。2013年,武汉市开始执行新环境空气质量标准,新标准增加了PM<sub>2.5</sub>和臭氧8小时浓度限值监测指标,收紧了PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>等污染物的浓度限值。环境空气质量优良天数明显减少,优良率大幅下降,首要污染物逐渐从以PM<sub>10</sub>为主,转为以PM<sub>2.5</sub>为主,O<sub>3</sub>和PM<sub>2.5</sub>污染较为严重。2014-2015年,我市采取多项举措改善空气质量,优良率逐年上升。

表3 2005-2015年武汉市空气质量优良天数及优良率

年度	优良天数	优良率(%)
2005	271	74.3
2006	273	74.8
2007	276	75.6
2008	294	80.3
2009	301	82.5
2010	284	77.8

2011	306	83.8
2012	321	87.7
2013	256	70.1
2014	284	77.8
2013 (新标准)	<b>160</b>	<b>43.8</b>
2014 (新标准)	<b>182</b>	<b>49.9</b>
2015 (新标准)	<b>192</b>	<b>52.6</b>

## 2、主要大气污染物浓度

近 10 年武汉市 PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、CO 浓度逐年下降，NO<sub>2</sub> 污染无明显改善。2005-2007 年，大气污染物浓度全面上升，SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 浓度上升幅度较快；2007-2012 年，SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub> 年均浓度持续下降，CO 浓度波动下降，NO<sub>2</sub> 浓度维持稳定；2013 年受区域污染和空气扩散条件不利等多重因素影响，武汉市空气污染加剧，大气污染物浓度均有不同程度上升，PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub> 年均浓度达到 2005 年以来峰值；2014-2015 年，我市改善空气质量取得初步成效，主要污染物浓度持续下降，臭氧浓度有升高趋势。

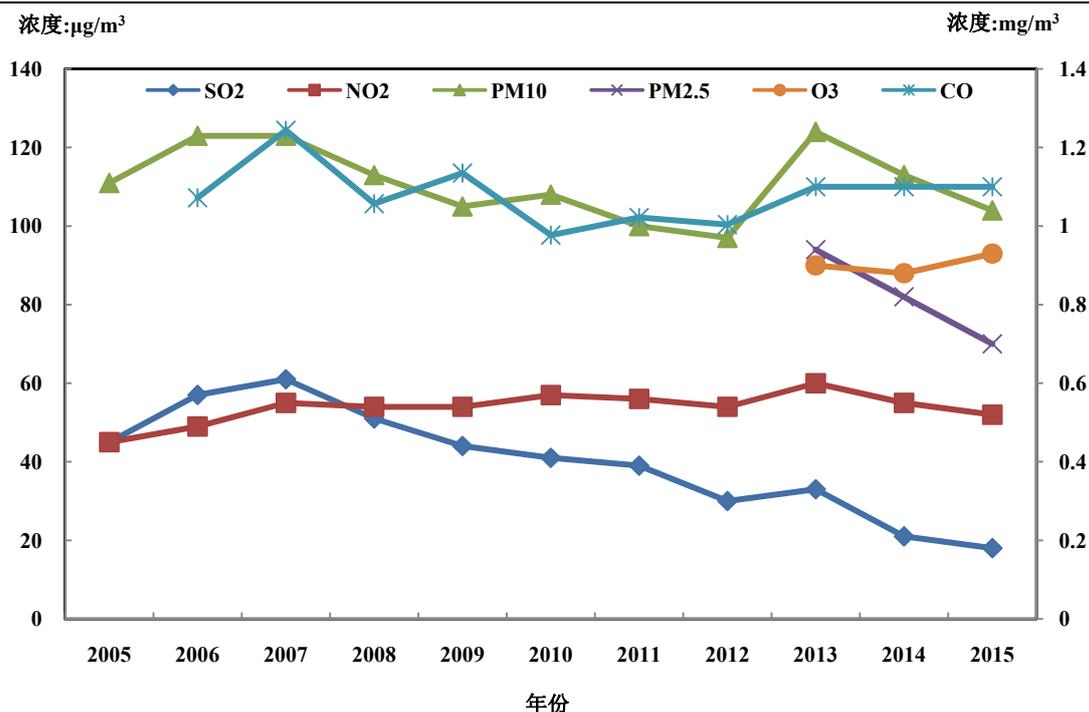


图4 2005-2015年武汉市主要大气污染物浓度

注：CO浓度用次坐标轴表示，其余五项污染物用主坐标轴表示。

## (二) 2015年武汉市空气质量状况

2015年武汉市空气质量较2014年明显好转，与2014年相比，主要污染物SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>年均浓度均有所下降。

2015年武汉市环境空气中SO<sub>2</sub>年均浓度为18μg/m<sup>3</sup>，达到《环境空气质量标准》(GB3095-2012)年均浓度二级标准，SO<sub>2</sub>年均浓度比2014年下降14.3%。

NO<sub>2</sub>年均浓度为52μg/m<sup>3</sup>，超过《环境空气质量标准》(GB3095-2012)年均浓度二级标准0.30倍。NO<sub>2</sub>年均浓度比2014年下降5.5%。

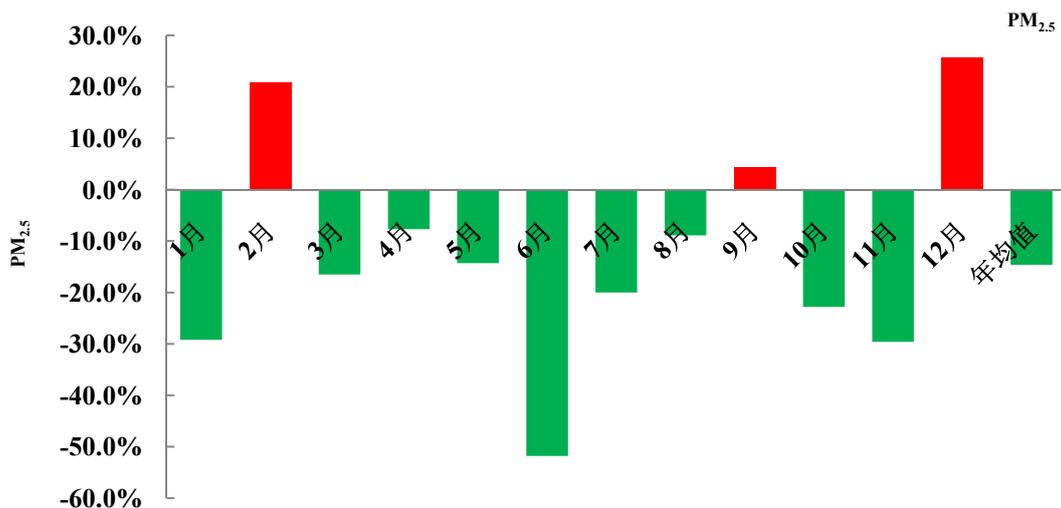
CO日平均浓度范围为0.4-2.6mg/m<sup>3</sup>，达标率为100%。

O<sub>3</sub>日最大8小时滑动平均浓度范围为6-238μg/m<sup>3</sup>，达标率为84.3%。

PM<sub>10</sub> 年均浓度为 104 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，超过《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 年均浓度二级标准 0.49 倍，PM<sub>10</sub> 年均浓度比 2014 年下降 8.0%。

PM<sub>2.5</sub> 年均浓度为 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，超过《环境空气质量标准》(GB3095-2012) 年均浓度二级标准 1.0 倍，PM<sub>2.5</sub> 年均浓度比 2014 年下降 14.6%。

图 5 展示了 2015 年武汉市 PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 每月月均浓度和年均浓度与 2014 年同期相较增降比例的变化趋势。绿色表示浓度较 2014 年同期有所下降，红色则表示上升。总体而言，武汉市颗粒物污染得



到改善，浓度呈下降趋势。

图 5 2015 年武汉市 PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 月均、年均浓度增降比变化趋势

2015 年首要污染物有 183 天为 PM<sub>2.5</sub>，48 天为 PM<sub>10</sub>，84 天为 O<sub>3</sub>，14 天为 NO<sub>2</sub>，2 天为 PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub>，1 天为 PM<sub>2.5</sub> 和 O<sub>3</sub>。首要污染物为 PM<sub>2.5</sub> 的天数同比减少，但首要污染物为 PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub> 的天数明显增多，PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 依然是主要污染物，臭氧污染逐渐加重。

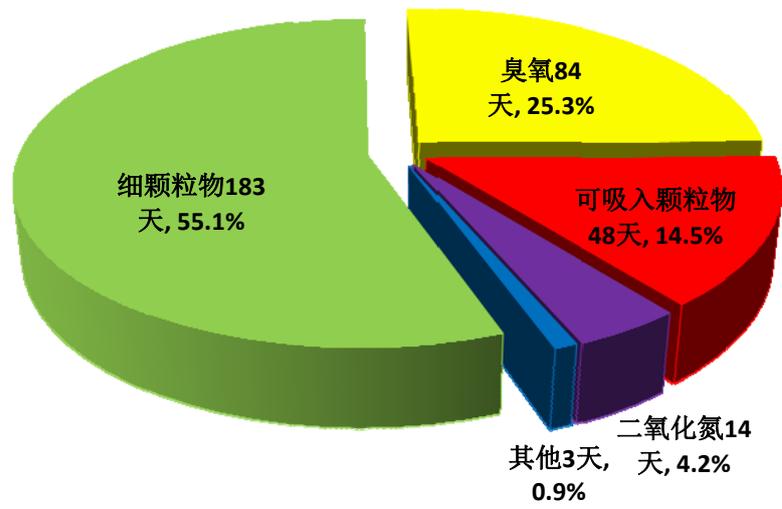


图 6 2015 年武汉市空气首要污染物分布

## 大气颗粒物源解析--大气颗粒物源解析工作(四)

### 四、大气颗粒物源解析工作

#### (一) 术语和定义

##### 1、颗粒物排放源

向大气环境中排放固态颗粒污染物的污染源。

##### 2、固定源

燃煤、燃油、燃气的锅炉和工业炉窑以及石油化工、冶金、建材等生产过程中产生的颗粒物通过排气筒向大气排放的污染源。

##### 3、流动源

沿着一定路线移动的排放源，主要包括机动车、船、飞机及非道路机械等颗粒物排放源。

##### 4、开放源

各种不经过燃烧或其它工艺过程、无组织、无规则排放的颗粒物源，具有源强不确定、排放随机等特点。

##### 5、无组织排放源

生产过程中产生的颗粒物不通过排气筒，直接向大气排放的污染源。

##### 6、一次颗粒物

由污染源直接排放到环境中的颗粒物，简称一次粒子。

##### 7、二次颗粒物

由排放到环境中的气态污染物经过光化学氧化反应，气-固转化形成的颗粒物，简称二次粒子。

#### 8、环境受体

受到污染物污染的环境空气统称环境受体，简称受体。

#### 9、环境空气颗粒物源解析

通过化学、物理学、数学等方法定性或定量识别环境受体中颗粒物污染的来源，简称颗粒物源解析。

#### 10、环境空气颗粒物源解析技术方法

用于开展环境空气颗粒物源解析的技术方法，主要包括源清单法、源模型法和受体模型法。

#### 11、源清单法

根据排放因子及活动水平估算污染物排放量，据此排放量识别对环境空气中颗粒物有贡献的主要排放源。

#### 12、源模型法

以不同尺度数值模式方法定量描述大气污染物从源到受体所经历的物理化学过程，定量估算不同地区和不同类别污染源排放对环境空气中颗粒物的贡献。

#### 13、受体模型法

从受体出发，根据源和受体颗粒物的化学、物理特征等信息，利用数学方法定量解析各污染源类对环境空气中颗粒物的贡献。

#### 14、颗粒物源成分谱

污染源排放特定粒径段颗粒物的化学组成特征。

## （二）颗粒物源解析

### 1、颗粒物排放源分类

颗粒物排放源可分成固定源、流动源、开放源等。固定源主要包括燃煤（油）的各类电厂锅炉、民用炉灶、建材和冶金工业炉窑等颗粒物排放源，流动源主要包括机动车、船、飞机及非道路机械等颗粒物排放源。源解析中的开放源通常包括土壤风沙尘、道路扬尘、施工扬尘、堆场扬尘和窗台尘等。特定地区的源解析工作有时需要考虑生物质燃烧尘、餐饮油烟尘和海盐离子等颗粒物排放源。与固定源、流动源和开放源等直接排放的一次颗粒物不同，二次颗粒物是由排放到环境中的气态污染物（也称前体物）经过光化学氧化反应生成的，是环境空气颗粒物的重要组成部分。

结合武汉市工业企业污染物排放特征、现场监测条件和其他城市工作经验，在武汉市典型行业（如电力、钢铁、水泥、化工、玻璃等行业）中选取 9 家固定污染源。通过现场调研和分布特征，开放源分别选取了 13 个裸地扬尘采样点、43 个道路扬尘采样点和 15 个建筑扬尘采样点。

### 2、环境受体颗粒物

根据技术规范，选取  $PM_{2.5}$  环境受体采样点位共 5 个，分别代表了新城区上风向点、中心城区工业区点、中心城区居民居住点、中心城区与新城区结合点及远郊对照点； $PM_{10}$  环境受体采样点位共 9 个，为 9 个国控空气自动监测点位。

### 3、样品采集



样品采集自 2014 年开始连续进行，历时一年多，完成颗粒物固定污染源样品、开放源样品和环境受体样品的采集工作，共获得 1300 多套样品。

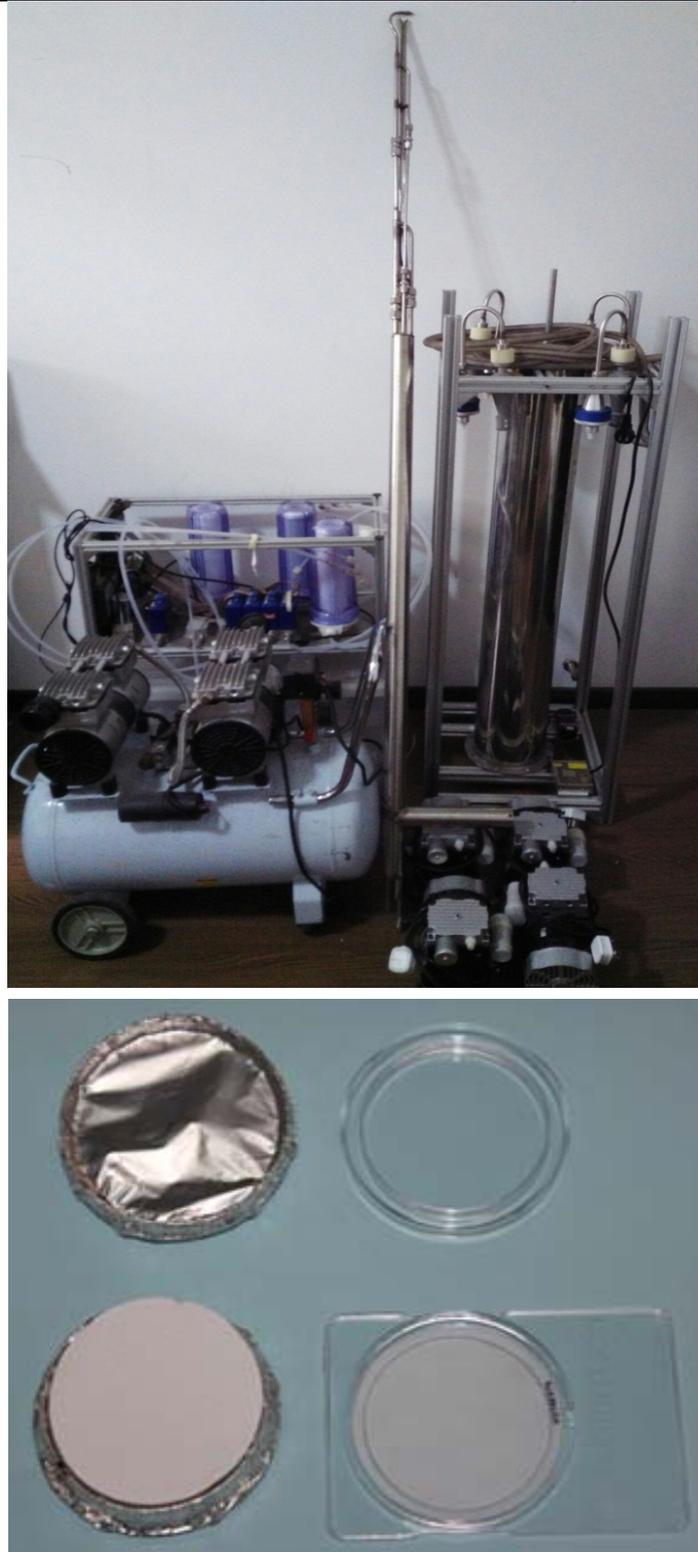
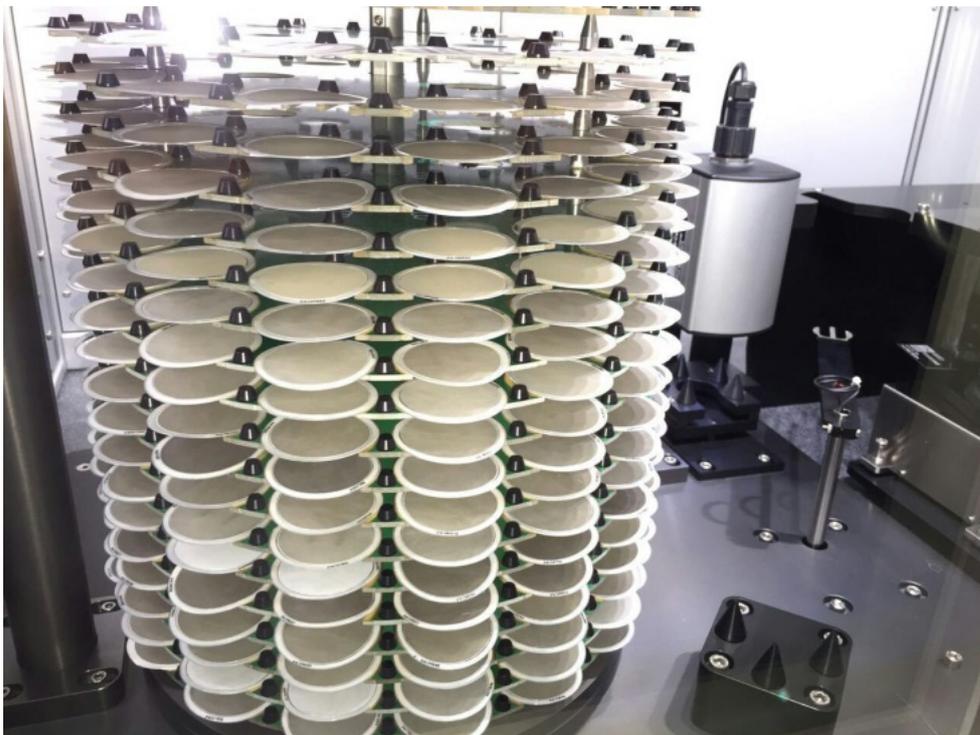


图 7 武汉市颗粒物源解析采样仪器、滤膜

#### 4、组分分析与模型解析

颗粒物样品分析项目包括质量浓度、水溶性离子成分、元素碳/有机碳、元素成分的测量工作。采样分析得到数十万个数据，使用受体模型法（CMB方法和PMF方法）进行数据处理分析，得出武汉市大气颗粒物源解析结果。同时，将受体模型解析结果与源清单、源模型结果进行反复比较和验证，结合武汉市自然条件、宏观经济社会发展指标、相关颗粒物排放源的情况，最终得到武汉市大气颗粒物综合源解析结果。



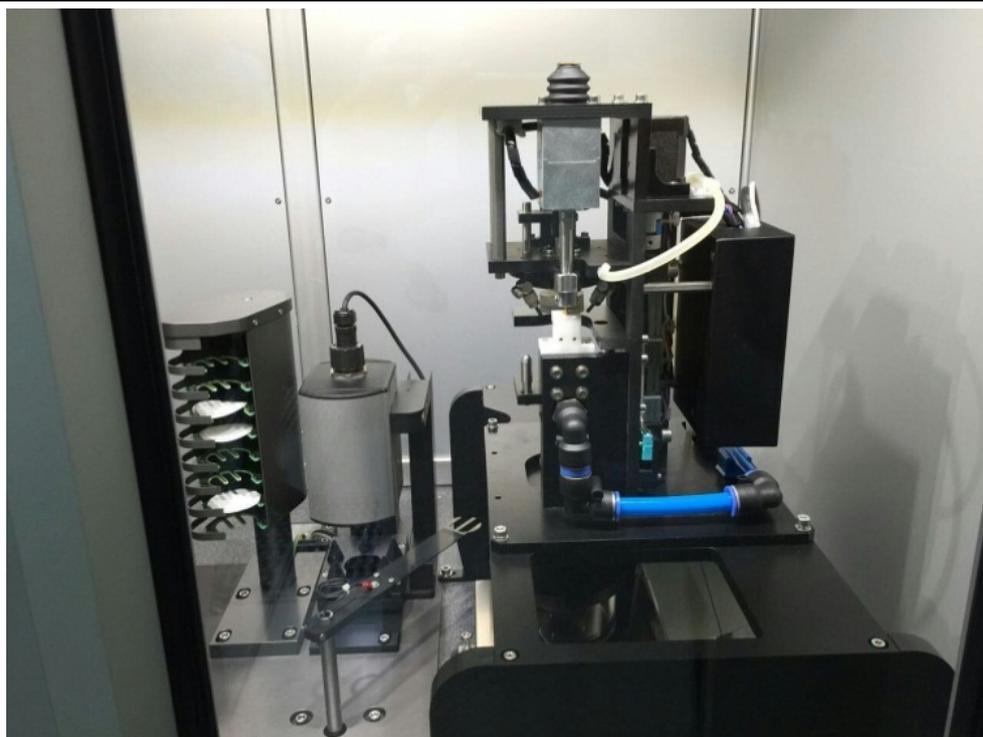
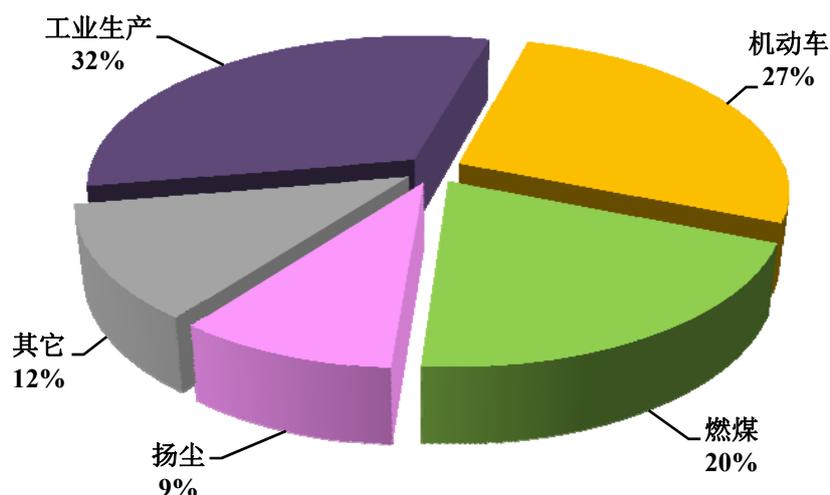


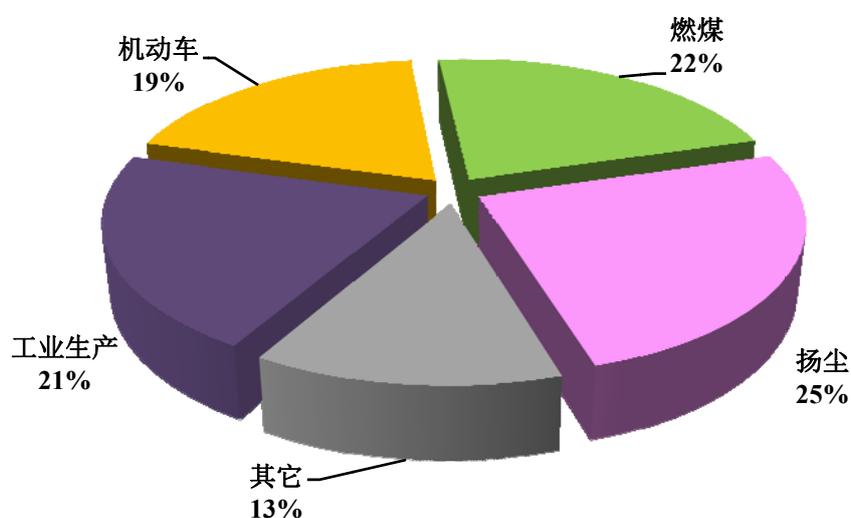
图 8 自动称量系统

#### 5、2014-2015 年颗粒物源解析结果

通过各监测点一年以上的数据分析，分别得出武汉市 PM<sub>2.5</sub> 综合源解析结果：工业生产排放 32%、机动车排放 27%、燃煤源 20%、扬尘源 9%、其它来源（生物质燃烧、生活源、农业源等）12%，如图 9 所示。

图 9 武汉市 PM<sub>2.5</sub> 综合源解析结果

武汉市 PM<sub>10</sub> 综合源解析结果：扬尘源 25%、燃煤源 22%、工业生产排放 21%、机动车排放 19%、其它来源(生物质燃烧、餐饮、农业生产等) 13%，如图 10 所示。

图 10 武汉市 PM<sub>10</sub> 综合源解析结果

由于空气污染复杂多变的特点，每一个点位的颗粒物组成随时都在发生变化，所以，综合源解析的结果只是代表所研究时段内全市的平均来源情况。不同点位、不同季节有其不同来源特征。

由于空气污染的传输性特点，污染源又分为本地和外源性污染。

本次源解析结果的各种来源既包括武汉市本地产生的,也包括外地输入的污染物,有待今后进一步量化解析。从总体浓度上讲,武汉市颗粒物污染本地排放占主导作用,外源输送也至关重要。本地贡献率呈现明显的季节性特征,夏季最高,春秋次之,冬季最低。 $PM_{10}$  本地贡献高于  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  的贡献率为 51%-75%, 而  $PM_{2.5}$  在 36%-65% 之间。

### (三) 颗粒物形态分析

高分辨率 SEM 图像可以清晰地显示亚微米级的颗粒尺寸和微观形貌,根据扫描电镜的单个颗粒物的形貌特征,可判断出武汉市可吸入颗粒主要包括烟尘集合体、飞灰、矿物颗粒及一些不能判断类型的细颗粒物。

#### 1、烟尘集合体

烟尘集合体是指由生物质或化石燃料不完全燃烧及汽车尾气产生的非纯净碳元素,其形貌特征很明显,主要有链状、蓬松状等。在扫描电子显微镜下,观测到三种不同的烟尘集合体:链状、蓬松丛状和密实状。如图 11 所示,图 11a 和图 11c 显示的烟尘集合体一般来源于燃煤的燃烧或柴油机尾气排放。蓬松丛状(图 11b)的烟尘集合体结构较松散,主要来源于汽车尾气的排放。

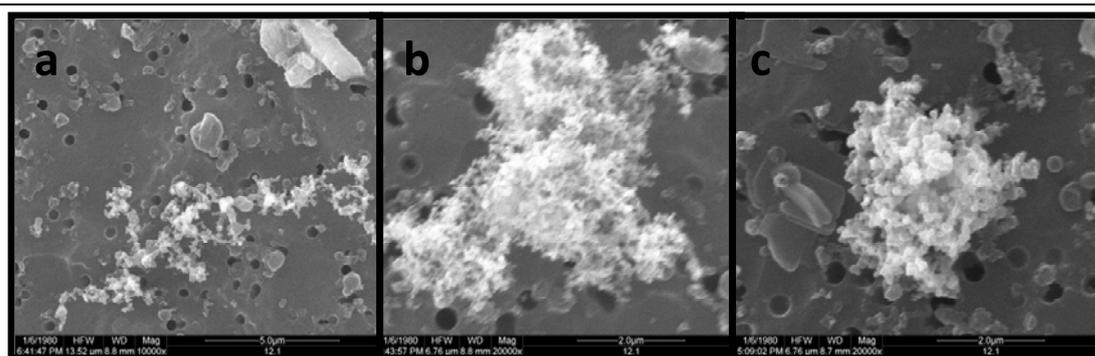


图 11 武汉市大气中烟尘集合体图像

## 2、飞灰颗粒

飞灰主要来自煤的燃烧，一般呈圆球形或近似圆球形。扫描电镜下显示的飞灰颗粒(图 12)主要有三种形态：有表面光滑的较规则的球形颗粒、被其它超细颗粒或二次生成物覆盖的球体颗粒和不规则或者局部内陷的球体，此类飞灰可能是颗粒在传输过程中的相互作用所致。

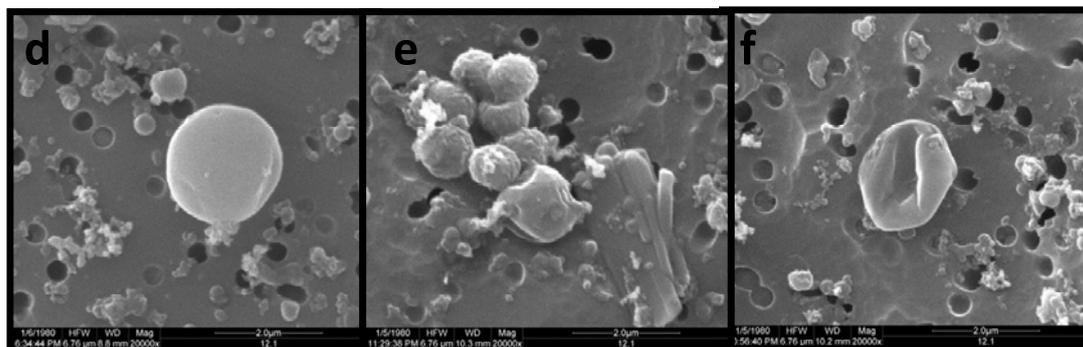


图 12 武汉市大气中飞灰球形颗粒物图像

飞灰颗粒粒径一般在几百纳米到几微米不等。武汉市  $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$  中燃煤飞灰粒度较小，粒径主要集中在  $0.5\mu m$  以下， $1\mu m$  以上的球形颗粒物在某些监测区有一定量的出现。样品中以规则光滑的球形颗粒最为常见。

## 3、矿物颗粒

大气中矿物颗粒主要有两种来源：扬尘和二次大气化学反应产物。

扬尘包括建筑扬尘、风起扬尘、道路扬尘和工业扬尘等，他们一般具有不规则的形状特征；规则的矿物颗粒一般认为是二次大气化学反应生成的（图 13）。矿物颗粒是武汉市  $PM_{10}$  和  $PM_{2.5}$  中主要的组成之一，大部分矿物颗粒为不规则颗粒，其形貌特征可细分为片状、块状和针状等。

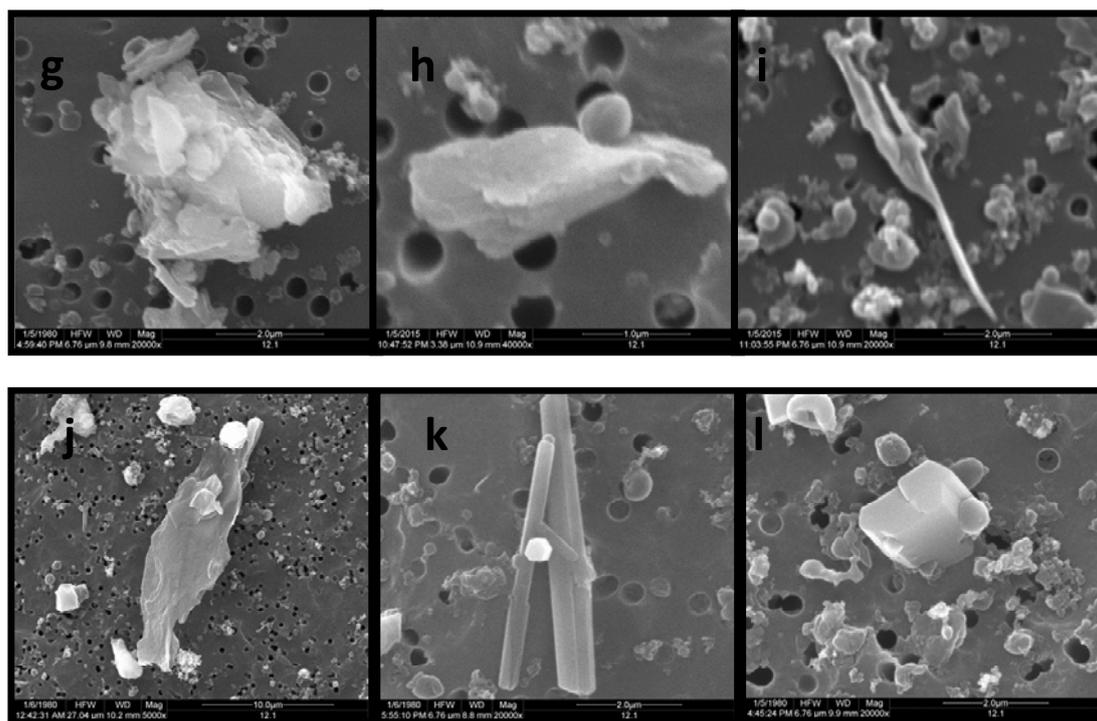


图 13 武汉市大气中矿物颗粒图像